

УДК 004.946:004.82

## **АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СКЛАДНОСТІ (DDA) НА БАЗІ ПОВЕДІНКОВИХ ДЕРЕВ**

Штацька А.О.

e-mail: [alona.shtatska@nure.ua](mailto:alona.shtatska@nure.ua)

Науковий керівник – ас. Татарніков А.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ICT  
м. Харків, Україна

This paper examines the architecture of a dynamic difficulty adaptation (DDA) system based on Behavior Trees. It describes the hierarchical structure of nodes that form the logic of enemy AI agents, and the mechanism of interaction of the Difficulty Manager module with other components of the game system.

Однією з ключових проблем сучасної розробки відеоігор є забезпечення оптимального балансу між рівнем складності та навичками гравця. Відповідно до теорії потоку Міхая Чіксентміхайї, стан максимального залучення досягається лише тоді, коли виклик гри точно відповідає поточному рівню майстерності: недостатня складність породжує нудьгу, надмірна – фрустрацію та відмову від гри. Системи динамічної адаптації складності (Dynamic Difficulty Adjustment, DDA) покликані автоматично підтримувати цей баланс у реальному часі, аналізуючи поведінку гравця та коригуючи параметри ігрового середовища, ворогів і перешкод без явного втручання користувача [1].

Поведінкові дерева (Behavior Trees) стали стандартом у розробці ігрового штучного інтелекту завдяки своїй ієрархічній структурі, модульності та високій читабельності. На відміну від традиційних скінченних автоматів, поведінкові дерева дозволяють формувати складну логіку AI-агентів через композицію простих вузлів, що забезпечує гнучкість, необхідну для адаптивних систем [2].

Difficulty Manager є центральним координатором системи DDA. Якщо показник гравця перевищує верхню межу еталонного діапазону, то система підвищує рівень складності, якщо гравець зазнає труднощів – знижує [3]. Критично важливим є плавне введення значень, оскільки різкі стрибки складності руйнують занурення та сприймаються, як нечесна гра.

Вплив Difficulty Manager на поведінкові дерева реалізується через три стратегії. Параметрична адаптація передбачає зміну числових значень існуючих вузлів: затримки реакції, точності, сили удару без зміни структури дерева – це найпростіший і найбезпечніший метод. Структурна адаптація дозволяє динамічно підключати або відключати цілі піддерева: наприклад, на низькому рівні складності піддерево фланкування деактивується, залишаючи лише пряму атаку. Еволюційна адаптація, описана в концепції Dynamic

Behavior Trees, використовує генетичні алгоритми для динамічної зміни самої структури дерева в процесі гри, де частина вузлів зберігає абстрактні запити, що підставляються конкретними поведінками залежно від поточного контексту [4].

Окрім прямого впливу на поведінкові дерева ворогів, Difficulty Manager взаємодіє з кількома іншими підсистемами гри, а саме з системою появи ворогів, кількості та якості допоміжних предметів, а також складності перешкод. Найбільш показовим прикладом такої комплексної взаємодії є система AI Director у Left 4 Dead, що відстежує показники здоров'я, точність влучень, відстань між членами команди, і відповідно регулює темп гри. Якщо гравці зазнають труднощів, гра зменшує хвили ворогів, коли ефективність героїв покращується, відповідно зростає інтенсивність [5].

Таким чином, архітектура системи DDA на базі поведінкових дерев являє собою багаторівневу структуру, де ієрархія вузлів Behavior Tree разом з механізмом Blackboard формує гнучку виконавчу платформу, а Difficulty Manager забезпечує безперервний цикл аналізу та адаптації, узгоджуючи роботу всіх компонентів ігрової системи. Модульність поведінкових дерев, плавність змін параметрів і розширена модель гравця є ключовими принципами успішної реалізації таких систем у сучасних відеоіграх.

#### Список використаних джерел:

1. DDA-MAPEKit: A Framework for Dynamic Difficulty Adjustment based on MAPE-K Loop / C. H. R. Souza et al. URL: <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3631085.3631322> (дата звернення: 12.03.2026).
2. Champandard A. J., Dunstan P. The Behavior Tree Starter Kit. Game AI Pro. URL: [https://www.gameai.pro/GameAIPro/GameAIPro\\_Chapter06\\_The\\_Behavior\\_Tree\\_Starter\\_Kit.pdf](https://www.gameai.pro/GameAIPro/GameAIPro_Chapter06_The_Behavior_Tree_Starter_Kit.pdf) (дата звернення: 12.03.2026).
3. Zohaib M. Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) in Computer Games: A Review. Wiley. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2018/5681652> (дата звернення: 12.03.2026).
4. Dynamic Expansion of Behaviour Trees / G. Florez-Puga et al. Scispace. URL: <https://scispace.com/pdf/dynamic-expansion-of-behaviour-trees-3h2ucwggq0x.pdf> (дата звернення: 12.03.2026).
5. Komad M. Dynamic Difficulty Adjustment and Behavioral Control in Games. Medium. URL: <https://medium.com/design-bootcamp/product-design-and-psychology-the-use-of-dynamic-difficulty-adjustment-in-video-game-design-7a1e2d919b96> (дата звернення: 12.03.2026).